نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره۴، سال ۱۳۹۷، صفحات ۷۲۵ تا ۷۳۴
DOI: 10.22060/ceej.2017.11832.5098

ارزیابی طیف‌های طراحی استاندارد ۲۸۰۰ با مقایسه با استاندارد نیوزیلند (NZS-1170.5) و نقدی بر روش اعمال اثرات جهت‌داری زلزله در ساختگاه‌های حوزه نزدیک

احمد نیکنام*، احسان یوسفی دادرس ، علی مزارعی

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده: این نوشتار برآنست که طیف‌های طراحی استاندارد ۲۸۰۰ را با مقایسه با ضوابط استاندارد نیوزیلند به دلیل شباهت‌های ظاهری نظیر دو پارامتری بودن مورد ارزیابی قرار دهد. هر دو استاندارد شتاب‌های طیفی با احتمال ده درصد در پنجاه سال را بازتاب می‌دهند. موارد ارزیابی شامل شتاب مبنای طرح (A) در استاندارد ۲۸۰۰ و فاکتور خطر (Z) در استاندارد نیوزیلند شکل‌های طیفی در بازه‌های شتاب ثابت و حداکثر سرعت ثابت روی انواع چهارگانه خاک و پارامتر اعمال اثرات جهت‌داری در حوزه نزدیک N(T) در استاندارد ۲۸۰۰ و N(D,T) در استاندارد نیوزیلند می‌باشند. با استفاده از روش مبتنی بر تحلیل خطر، مقادیر شتاب‌های طیفی استاندارد ۲۸۰۰ با اعمال اثرات جهت‌داری بطور کیفی ارزیابی شده است. نتایج کیفی این مقاله نشان می‌دهد که مقادیر شتاب‌های طیفی استاندارد ۲۸۰۰ در زمان تناوب‌های میانی (تا ۲ ثانیه) باید افزایش و در زمان تناوب‌های بلند (بزرگتر از ۲ ثانیه) باید کاهش داده شود. به بیان دیگر شتاب‌های طیفی برای ساختمان‌های با ساخت و ساز فراوان در حوزه نزدیک کمتر از مقدار مورد نیاز است.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۳ شهریور ۱۳۹۵
بازنگری: ۲۲ اسفند ۱۳۹۵
پذیرش: ۲۸ اسفند ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۳۱ خرداد ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:
فاکتورخطر
شتاب مبنای طرح
شکل طیفی
اعمال اثرات حوزه نزدیک
استاندارد نیوزیلند

۱- مقدمه

انگیزه اصلی این پژوهش چالش‌های ناشی از تغییرات طیف‌های طراحی ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نسبت به ویرایش سوم است. ضمن اینکه امروزه بخش‌های تغییر داده نشده آن نظیر ارائه دو پارامتری بودن [$A\times B(T_1)$] و یا عدم رعایت فاصله ساختگاه تا گسل [۱]، روش اعمال اثرات جهت داری در حوزه نزدیک [۲]، مقایسه برش پایه استاندارد ۲۸۰۰ با دیگر آئین نامه‌ها [۳] قبلاً مورد نقد قرار داده شده است. آنچه در ویرایش جدید چالش برانگیز است به دو تغییر عمده آن بر می‌گردد. یکی تغییر توان زمان تناوب از [$T^{2/3}$] در ویرایش سوم به [T] در ویرایش جدید و دیگری اعمال اثرات حوزه نزدیک با پارامتر N(T) است [$B=NB_1$ (T)] که ظاهرا هر دو از استاندارد نیوزیلند (NZS-1170.5-4) اقتباس شده است. این مقاله بر آن است که این اقتباس را مورد نقد و ارزیابی قرار داده و نقائص آن را با توجه به اطلاعات امروزه مهندسی با الهام از اطلاعات طیف‌های نیوزیلند شفاف‌سازی نماید.

۱- ۱- خصوصیات شتاب نگاشت در حوزه نزدیک

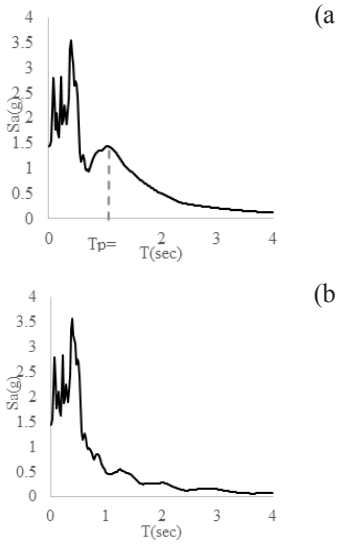
ساختگاه‌ها تا شعاعی حدود ۲۰ کیلومتر از رو مرکز (تصویر افقی نقطه شروع گسلش در سطح زمین) ممکن است با ضربات نسبتاً قوی ناشی از انرژی مستهلک نشده امواج زلزله و دامنه زیاد در شروع تاریخچه زمانی سرعت مواجه شود. این زمین لرزه‌ها ممکن است از دو ویژگی برخوردار باشد که در زلزله‌های با فاصله دور دیده نمی‌شود یکی اثرات جهت‌داری پیش سوی[1] و دیگری پدیده اثرات جابجایی ماندگار[2] که تا کنون خسارات مالی و جانی زیادی ناشی از آن به بار آورده است [۴ و ۵].

به‌طور فشرده در شروع تاریخچه زمانی زلزله با بزرگای از ۶ ریشتر به بالا در ساختگاه‌های حوزه نزدیک به‌ویژه اگر ساختگاه‌ها در راستای صفحه گسلش باشد ضرباتی[3] وارد می‌آید. چون شتاب تغییرات سرعت را بازتاب می‌دهد، ضربات یاد شده در شروع تاریخچه زمانی سرعت که عمدتاً با زمان تناوب زیاد و دامنه بلند همراه است. در همان زمان تناوب (که از زمان تناوب ۰/۶ ثانیه به بالا دیده شده است [۴] به شتابی قوی تبدیل می‌شود. این شتاب در بازه حداکثر سرعت ثابت طیف شتاب به صورت کوهانی نمایان می‌شود که به آن جهت داری زلزله گفته می‌شود. شکل ۱ دو طیف را نشان می‌دهد که هر دو مربوط به زلزله در فاصله برابر ساختگاه تا گسل مسبب می‌باشد و تفاوت منحنی آنها قابل مشاهده است. شکل ۱ نمونه‌ای از طیف‌های دو

1 Forward directivity
2 Fling-step
3 Velocity Pulse

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: a_nicknam@iust.ac.ir

زلزله در حوزه نزدیک را نشان می‌دهد. زمان تناوب نظیر حداکثر شتاب طیفی با T_p (Pulse Period) نشان داده شده است.



شکل ۱: نمایش مقایسه طیف‌های نظیر دو زلزله در حوزه نزدیک a) با اثرات جهت داری و پریود نظیر حداکثر شتاب طیفی جهت دار (T_p) b) بدون اثرات جهت داری

Fig. 1. Illustration Comparison between two spectral at near field a) ground motion with directivity effect and has pulse-period (T_p) b) ground motion without directivity effect

۱- ۲- پیشینه مطالعات جهت‌داری زلزله

سابقه ارائه پارامتر جهت‌داری زلزله به کار آقای بن مناهم بر میگردد که در رساله دکترا با فرمول‌های فیزیک-ریاضی پیچیده آنرا بیان کرده است [۶]. در زمینه‌ی مدل کردن جهت داری زلزله از منظر لرزه‌شناسی کارهای زیادی در دهه گذشته انجام شده که نمونه‌ای از آن در مرجع [۷] قابل مشاهده می‌باشد. نظریه جهت‌داری در حوزه نزدیک نیز توسط تعدادی از پژوهشگران ارائه شده است [۱۱-۸] در زمینه فروریزش ساختمان ناشی از جهت‌داری نیز گزارش‌هایی ارائه شده است [۱۴-۱۲] مطالعات سال‌های اخیر توجه خاصی به ضربه سرعت شده است. نمونه‌های آنرا می‌توان در کار کالکان[1] [۱۵]، هال[2] و همکاران [۱۶] هیتو[3]ن و همکاران [۱۷]و ایوان[4] [۱۸] نام برد. ذکر این نکته ضروری است که چون شتاب طیفی در استاندارد ۲۸۰۰ به صورت دو پارامتر A (شتاب مبنای طرح) و B (شکل طیفی) ارائه شده با روابط کاهندگی در بردارنده اثرات جهت‌داری که معمولاً به شتاب طیفی اعمال می‌گردد قابل اصلاح نیست زیرا روابط کاهندگی عمدتاً پارامتر شتاب طیفی (Sa) را با اثرات جهت‌داری مدل می‌نماید (A×B در استاندارد ۲۸۰۰).

1 Kalkan
2 Hall
3 Heaton
4 Heaton

۲- طیف‌های کشور نیوزیلند به عنوان مرجع ارزیابی طیف‌های ایران

امروزه طیف طراحی مستقیماً از شتابنگاشت‌های ثبت شده چه در فواصل دور و چه در حوزه نزدیک استخراج میگردد و ارائه طیف به صورت دو بخشی نظیر آنچه در استاندارد ایران است [$A\times B(T_1)$] به کلی منسوخ شده است. در تمامی کشورهای لرزه‌خیز فقط در دو استاندارد به صورت دو بخشی ارائه می‌شود یکی استاندارد NZS-1175-4 [۱۹] و دیگری استاندارد ۲۸۰۰ که نحوه دو بخشی بودن آنها هم تفاوت فاحشی با یکدیگر دارد که در بخش‌های بعدی باختصار به آن پرداخته می‌شود. دو دلیل موجب انتخاب استاندارد NZS-117.5-4 به عنوان مرجع ارزیابی شده است: یکی شباهت آن در دو بخشی بودن و دیگری شباهت نسبی لرزه خیزی دو کشور.

۲- ۱- لرزه خیزی نیوزیلند

کشور نیوزیلند در جنوب اقیانوس آرام و بخش جنوبی استرالیا واقع شده و وسعت آن ۲۶۸۶۰ کیلومتر مربع (حدود ۱۶٪ ایران) با جمعیتی حدود ۴ میلیون نفر است. جدول ۱ نمونه‌ای زلزله‌های ثبت شده و تاریخی را نشان می‌دهد. در کشور نیوزیلند خطر لرزه‌ای با پارامتر Z تعریف می‌شود و فاکتور خطر Z در این آیین‌نامه چنین تعریف شده است: فاکتور خطر برابر با نصف مقدار طیف زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال و زمان تناوب نیم ثانیه روی خاک کم‌عمق (نرم) می‌باشد که حداقل آن ۰/۱۳ g و حداکثر آن در حوزه نزدیک معادل ۰/۶ g می‌باشد.

نیوزیلند از سال ۱۹۳۵ دارای کد طراحی ساختمان است و تا قبل از سال ۱۹۹۲ با مشخص کردن فاکتور خطر Z به ۵ بخش تقسیم می‌گردد. مناطق شمالی A (با فاکتور خطر ۰/۲ g)، مناطق شمالی B (با فاکتور خطر ۰/۲ g تا ۰/۳ g)، مناطق شمالی C (با فاکتور خطر ۰/۳ g بدون اثرات جهت‌داری) و منطقه NF با فاکتور خطر بیش از ۰/۳ g مخصوص حوزه نزدیک) و بالاخره منطقه V با فاکتور خطر ۰/۳ g – ۰/۲ g از جمله آنهاست.

از سال ۱۹۹۲ فاکتور عملکرد سازه (S_p) که نسبت شکل پذیری جابجایی سازه به جابجایی نظیر بر اساس تساوی جابجایی خطی و غیرخطی است به استاندارد نیوزیلند وارد گردید[۲۰]. سه منطقه تقسیم بندی شده در ویرایش قبلی با نقشه‌های هم خطر با فاکتور خطر Z جدید منطقه جایگزین گردیدکه برای لرزه‌خیزی کم مقدار ۰/۶ و برای منطقه با لرزه خیزی زیاد برابر با ۱/۲ مشخص گردید.

آنچه قابل نتیجه‌گیری است اینکه نیوزیلند کشوری است با لرزه‌خیزی بسیار زیاد که با کشور ایران قابل مقایسه می‌باشد بنابراین می تواند به عنوان مرجعی برای ارزیابی طیف‌های ایران مورد استفاده قرار گیرد. بویژه برای زلزله‌های با فواصل کمتر از ۲۰ کیلومتر (حوزه‌ی نزدیک) که استاندارد NZS مقدار ۶/۵ ریشتر در نظر گرفته است [۲۱] گو اینکه اینکار باید بطور مستقل برای آئین‌نامه کشور ایران انجام گیرد ولی بدلایل زیاد از جمله در برداشتن هزینه زیاد و نواقص موجود در استاندارد این امر را تا کنون غیر عملی ساخته است.

جدول ۱: نمونه‌هایی از زلزله‌ها گذشته نیوزیلند برای مقایسه با زلزله‌های رخ داده در ایران در استفاده از دیتای نیوزلند

Table 1. Example of new Zealand earthquake for Comparison with Iranian earthquake

اسم رخداد	تاریخ رخداد	بزرگا	محدوده اثر-گذاری	شدت اصلاح شده مرکالی
Marlborough	۱۸۴۸ Oct ۱۶	۷/۸	Wellington	۸
Wairarapa	۱۸۵۵ Jun ۲۱	۸/۱	Wellington	۹
Murchison	۱۹۲۹ Jun ۱۶	۷/۷	Murchison	۹
Hawke's Bay	۱۹۳۱ Feb ۳	۷/۸	Napier	۱۰
Pahiatua	۱۹۳۴ Feb ۵	۷/۴	Pahiatua	۸
Wairarapa	۱۹۴۱ Jun ۲۴	۷/۲	Masterton	۸
Edgecumbe	۱۹۸۷ May ۲	۶/۶	Edgecumbe	۹
Darfield	۲۰۱۰ Sep ۳	۷/۱	Christchurch	۸

۲- ۲- مقایسه دو بخشی بودن استاندارد نیوزیلند و ایران

۲- ۲- ۱- استاندارد ۲۸۰۰ ایران

دو بخشی بودن طیف‌های طراحی استاندارد ۲۸۰۰ در مقایسه با استاندارد معتبر به سادگی قابل تشخیص است. طیف‌های ایران [$Sa(T_1)$] بصورت $Sa(T_1)=A\times B(T_1)$ ارائه شده که در آن A (شتاب مبنای طرح)، که احتمال فراگذشت شتاب زمین (PGA) روی بستر سنگی را نمایندگی می‌کند. مقادیر A (درصدی از g) در هر منطقه نماینده مقدار احتمالاتی بیشینه زمین (PGA) است که احتمال بزرگتر از آن در ۵۰ سال ده درصد است (PE=٪۱۰). پارامتر B(T) هم اثرات و خواص دینامیکی، محتوای فرکانسی زلزله‌ها، نوع خاک و لرزه‌خیزی منطقه را نمایندگی می‌کند. که روی هر نوع خاک و در هر زمان تناوب دارای اثرات خاصی است.

آنچه در طیف‌های دو بخشی استاندارد ۲۸۰۰ چالش برانگیز است اینکه پارامتر A مقدار احتمالاتی حداکثر شتاب زمین را نماتیندگی می‌کند و فقط در زمان تناوب صفر (T=۰) با دیگر بخش B(T) مشترک است. به بیان دیگر، پارامترA مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب صفر است که با روش احتمالاتی بدست می‌آید (کمی دور از ذهن بنظر می‌رسد) که بر حسب ادعا کل طیف (از زمان تناوب صفر تا ۵ ثانیه) را باید به صورت شکل طیفی احتمالاتی تبدیل نماید. و بالاخره، اثرات حوزه نزدیک با پارامتر N(T) در شکل طیفی B_1 (T) ضرب می‌شود که این نکته در استاندارد نیوزیلند نیز به صورت مشابه اعمال می‌گردد.

۲- ۲- ۲- استاندارد نیوزیلند

ضریب زلزله این استاندارد C_d (T) که از آن برش پایه با رفتار خطی حاصل می‌شود. (V_b) با استفاده از ۶ پارامتر به شرح زیر بدست می‌آید [۲۲]:

$$C_d=C_h\,(T)\times Z\times R\times N(T,D) \qquad (۱)$$

که در آن :

Z فاکتور خطر منطقه‌ای زلزله (معادل شتاب مبنای طرح با تفاوت فاحش در تعریف آن با استاندارد ۲۸۰۰)

R فاکتور دوره بازگشت سالانه زلزله (۴۷۵ سال و یا قابلیت تغییر در دوره بازگشت کمتر و بیشتر که در استاندارد ایران تعریف نشده است)

C_h (T) فاکتور شکل طیفی (در استاندارد ایران با B تعریف شده است)

N(T,D) فاکتور اثرات جهت‌داری در حوزه نزدیک (در استاندارد ایران با N(T) تعریف شده است)

قابل ذکر اینکه در طیف‌های نیوزیلند پارامترهای دیگری برای انعکاس عملکرد سازه (SP) و نیز شکل‌پذیری آن (KU) به صورت زیر منظور شده است:

$$V_b=C_d\,(T)\times W \qquad (۱a)$$

$$C_d\,(T)=C_d\times S_P/K_u \qquad (۱b)$$

که در آن:

S_P فاکتور عملکردی سازه (در استاندارد ایران تعریف نشده است)

K_u فاکتور شکل‌پذیری (در استاندارد ایران تعریف نشده است)

چون این دو پارامتر در استاندارد نیوزیلند مباحث سازه‌ای را نمایندگی می‌کند از بحث این نوشتار خارج است و در ارزیابی استاندارد ایران مطرح نمی‌شود.

۳- تفاوت‌های عمده دو استاندارد

۳- ۱- ۳-۱- اختلاف کیفی در روش محاسبه شتاب مبنای طرح (A) و فاکتور خطر (Z)

در استاندارد نیوزیلند ضریبی برای اعمال اثر دوره بازگشت سالانه زلزله (R) پیش بینی شده است که طی جدولی مقادیر مختلف آن برای دوره‌های بازگشت مختلف ارائه شده است جدول شماره ۳ [۲۱] این ضریب از ۱/۸ تا ۰/۲ تغییر می‌کند. در دوره بازگشت سالانه زلزله طرح (۴۷۵ ساله) مقدار R برابر با یک است. چون زلزله استاندارد ۲۸۰۰ نیز برای این دوره بازگشت ارائه شده لذا ارزیابی استاندارد ۲۸۰۰ در این دوره بازگشت (R=۱) مورد بررسی قرار داده می‌شود. به این ترتیب اثرات پارامتر R از بحث حذف می‌گردد.

جدول ۲: نمایش مقادیر فاکتور خطر Z در ساختگاه‌های با فواصل ۴ تا ۲۰ کیلومتری از گسل مسبب در استاندارد نیوزیلند برای مقایسه مقادیر شتاب مبنای طرح به دلیل یکسان بودن تقریبی مقدار عددی A و Z

Table 2. hazard factor (Z) in site with 4 until 20 km distance from causer fault in the New Zealand seismic code for comparison with basic design acceleration (A) for approximately equal value

No.	Location	Z	D (km)
۱	Waikanae	۰/۴	۲۰-۱۵
۲	Paraparaumu	۰/۴	۲۰-۱۴
۳	Masterton	۰/۴	۱۰-۶
۴	Porirua	۰/۴	۱۲-۸
۵	Wellington	۰/۴	۸-۰
۶	Eastbourne-Point Howard	۰/۴	۸-۴
۷	Wainuiomata	۰/۴	۸-۵
۸	Kaikoura	۰/۴۲	۱۲
۹	Arthurs Pass	۰/۶	۱۲

جدول ۳: مقادیر متوسط فواصل و بزرگا برای شتاب طیفی در زمان تناوب یک ثانیه روی چهار نوع خاک مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ، این مقدار به صورت متوسط برای ارزیابی پارامتر N(T) در استاندارد ایران آمده است.

Table 3. Average value magnitude and distance for acceleration spectral 1 sec on four site soil condition in 2800 code. This value present as an average in Iranian code for assessment N(T) parameter

	شتاب در یک ثانیه	Boore 2008	Campbell 2008	Abrahamson 2008
خاک نوع ۴	۰/۹۶	M=6.5, R=9	M=6.5, R=6.5	M=6.5, R=11
خاک نوع ۳	۰/۶۷	M=6.5, R=10.5	M=6.5, R=7.5	M=6.5, R=11.5
خاک نوع ۲	۰/۴۸	M=6.5, R=12	M=6.5, R=8	M=6.5, R=13
خاک نوع ۱	۰/۳۸	M=6.5, R=15	M=6.5, R=12	M=6.5, R=16

نکته قابل اهمیت، اختلاف در روش محاسبه دو پارامتر A و Z است. پارامتر A حاصل از تحلیل خطر بیشینه شتاب زلزله روی زمین (PGA) است که از روابط کاهندگی مخصوص PGA استفاده می‌شود. کاربرد این نوع روابط کاهندگی در مهندس زلزله مدتها است منسوخ شده است. فاکتور خطر Z از روی طیف استاندارد نیوزیلند پیش بینی می‌گردد. مقدار عددی فاکتور خطر (Z) استاندارد نیوزیلند NZS-1170.5-4 عبارتست از نصف شتاب طیفی در زمان تناوب نیم ثانیه روی خاک نوع C. قابل ذکر اینکه طبقه بندی خاک‌ها در استاندارد نیوزیلند با ایران متفاوت است. حداقل ۰/۱۳ و حداکثر آن ۰/۶ است. دلیل این روش انتخاب فاکتور خطر این است که نصف شتاب طیفی در پریود نیم ثانیه معادل یک است یعنی فاکتور (Z) مقدار

شتاب طیفی است که با ضرب در شکل طیفی روی آن تاثیر گذار نیست. پس می‌تواند به عنوان بیشینه شتاب زمین تلقی گردد. به همین دلیل بعضی مراجع فاکتور Z را با تقریب برابر عدد احتمالاتی نظیر PGA و یا عدد احتمالاتی بیشینه شتاب موثر زمین می‌نامند. این پارامتر با شکل طیفی C_U در استاندارد نیوزیلند کاملاً سازگار است.

۳- ۲- مقایسه کمی فاکتور خطر (Z) و شتاب مبنای طرح (A) در حوزه نزدیک (بدون اثرات جهتداری)

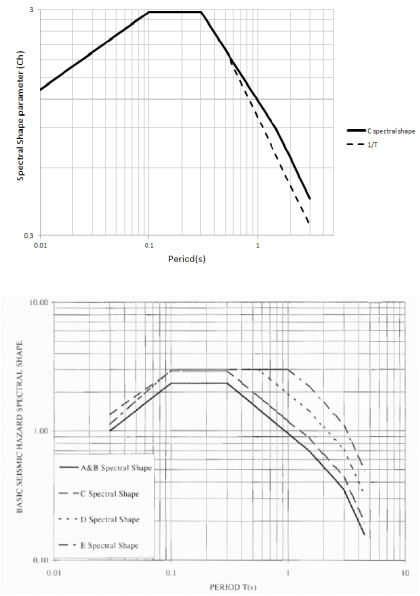
با توجه به آنچه آمد، مقدار Z نباید با شتاب مبنای طرح (هر دو برای یک سطح خطر ده درصد) اختلاف آنچنانی داشته باشد. مقادیر جدول ۲ از جدول شماره ۳،۳ استاندارد NZS-1170.5-2004 استخراج شده که در آن مقادیر فاکتور Z در فواصل ۴ تا ۲۰ کیلومتری از گسل را نشان می‌دهد (حتی نمونه Z=۰/۶ هم در ردیف ۹۷ جدول استاندارد نیوزیلند ۳/۳ دیده می‌شود). مقادیر Z برای فواصل کمتر از ۲۰ کیلومتر معادل ۰/۴۱ است. از طرفی دیگر مقادیر شکل طیفی در استاندارد نیوزیلند برای خاک‌های نرم D و E (۳ و ۴ استاندارد ایران) معادل ۳ می‌باشد. با یک محاسبه ساده مقدار شتاب طیفی در این دو نوع خاک برای استاندارد ایران و مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد و زیاد در بازه شتاب ثابت معادل۰/۳۵×۲/۷۵=۰/۹۱ و ۰/۲۵×۳/۲۵=۰/۸۱و برای استاندارد نیوزیلند معادل۰/۴×۳=۱/۲ می‌باشد یعنی اختلافی بین ۲۵٪ تا ۵۸٪ (بطور متوسط بین ۵۰٪-۴۱٪) تصحیح می‌گردد.

۳- ۳- اختلاف دو طیف در شکل طیفی بازه حداکثر سرعت ثابت

مهمترین تفاوت طیف طراحی در دو آیین‌نامه ایران و نیوزیلند مقادیر شکل طیفی در بازه حداکثر سرعت ثابت و یا بازه با زمان تناوب بلند است که برای اصلاح طیف به حوزه نزدیک با ویژگی جهت‌داری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. طیف نیوزیلند شامل شش بخش است که سه بخش آن در بازه حداکثر سرعت ثابت قرار می‌گیرد. این بخش در طیف مربوط به زمان تناوب های بلندتر از T_S (زمان تناوب گوشه) می‌باشد.

مقادیر شکل طیف استاندارد ایران از پریود گوشه (T_S) به بعد متناسب با ۱/T تغییر می‌کند که اقتباسی از استاندارد ASCE-7 [۱۹] آمریکاست در حالیکه شکل طیف در استاندارد NZS دارای دو پریود گوشه و یا بیشتر است (به شکل شماره ۲ مراجعه شود). تغییرات ضریب زلزله برای خاک نوع A و B در شکل ۲ با خط پر و به صورت دو پریود گوشه‌ای نشان داده شده است.

مقادیر شکل طیفی از پریود گوشه اول تا پریود گوشه دوم بسته به نوع خاک از روابط متفاوتی تبعیت می‌کند که استاندارد ۲۸۰۰ فاقد آن است. به عنوان مثال بر روی خاک نوع A و یا B (سنگ) و برای تحلیل با روش‌های مدی و تاریخچه زمانی شکل طیفی از مجموع روابط زیر ساخته شده است.



شکل ۲: شکل طیفی C_h (t) مبنا در چهار نوع خاک در استاندارد نیوزیلند [۱۹] برای تحلیل به روش مدی و تاریخچه زمانی

Fig. 2. $C_h(t)$ on four different soil type at New Zealand seismic code for modal and numerical integration time history method

$$C_h(0) = 1$$

$$\begin{aligned}
&\text{برای } 0 < T < 0.1 && C_h(T) = 1 + 1.35\left(\frac{T}{0.1}\right)\\
&\text{برای } 0.1 < T < 0.3 && C_h(T) = 2.35\\
&\text{برای } 0.3 \le T \le 1.5 && C_h(T) = 1.6\left(\frac{0.5}{T}\right)^{0.75}\\
&\text{برای } 1.5 < T \le 3 && C_h(T) = 1.05/T\\
&\text{برای } 3 < T && C_h(T) = 3.15/T^2
\end{aligned} \qquad (۲)$$

به طوریکه ملاحظه می‌شود تغییرات شکل طیفی بعد از اولین پریود گوشه (T_S) در بازه ۰/۳ تا ۱/۵ ثانیه از توان ۰/۷۵ تبعیت می‌کند (به شکل شماره ۳ مراجعه شود) که به‌مراتب شتاب‌های طیفی آن بزرگتر از تغییرات متناسب با ۱/T است (که مبنای تغییرات استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم است) و تغییرات شتاب طیفی از زمان تناوب ۱/۵ ثانیه شروع می‌شود. این شروع تغییرات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در بخش حوزه نزدیک به آن پرداخته می‌شود. نتیجه اینکه شروع تغییرات متناسب با ۱/Tکه در هر دو استاندارد تحت تاثیر جهت‌داری حوزه نزدیک قرار داده می‌شود (با ضریب N(T) در دو آئین‌نامه کاملا متفاوت است. به عنوان نمونه استاندارد ایران برای طیف سنگ از ۰/۴ ثانیه شروع می‌شود (T_S=۰/۴).

۳- ۴- اختلاف در تعریف پارامتر اثرات جهت‌داری زلزله به طیف حوزه نزدیک N(T,D)

امروزه اثرات جهت‌داری به مقدار متوسط شتاب طیفی حاصل از رابطه کاهندگی اثر داده می‌شود و اعمال آن به مقدار نظیر احتمال فراگذشت ده درصد است ($Sa(Ti)=(Sa(Ti)) \pm \delta\varepsilon$). دو استاندارد به لحاظ تعریف پارامتر (N) مورد مقایسه قرار داده می‌شود.

N(T,D) مطابق آیین نامه نیوزیلند، ضریبی است که شتاب طیفی حوزه نزدیک را به طیف با ویژگی جهت‌داری تبدیل می‌نماید. به این ترتیب که در شکل طیفی C_h (T) ضرب می‌شود تا اثرات جهت‌داری در طیف را اعمال نماید. برای ساختگاه‌های بیش از ۲۰ کیلومتر مقدار این ضریب واحد و برای فواصل کوتاهتر این ضریب افزایش می‌یابد بطوریکه در فاصله ۲ کیلومتری و یا کمتر مقدار آن به ۱/۷۲ می‌رسد. به عنوان نمونه اعمال این اثر در استاندارد نیوزیلند در خاک نوع A و B (نظیر نوع یک استاندارد ۲۸۰۰) که از زمان تناوب ۱/۵ ثانیه شروع می‌شود با رابطه ۳ نشان داده می‌شود.

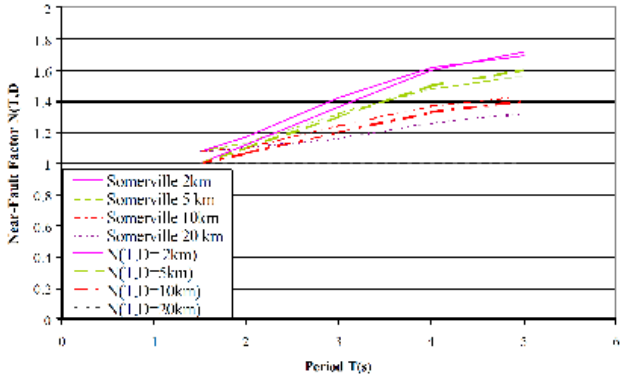
$$N(D,T)=\begin{cases} N_{max}(T) & D<2 \\ 1+\dfrac{(N_{max}(T)+1)(20-D)}{18} & 2<D<20 \\ 1 & D>20 \end{cases} \qquad (۳)$$

مقادیر N_{max} برحسب دوره تناوب طی جدولی ارائه شده است (جدول ۴ از مرجع [۲۱]). بطوریکه در تفسیر آیین نامه نیوزیلند آمده است [۱۹] محاسبه N(T,D) بر اساس کار آقای سامرویل[1] است [۴]. شکل ۳ این مقایسه را نشان می‌دهد. جدول ۴ مقادیر حداکثر ضرائب اثرات جهت‌داری N_{max} شتاب با زمان تناوب‌های در استاندارد نیوزیلند را نشان می‌دهد.

این پارامتر در استاندارد ایران با N(T) معرفی شده و از طریق پریود گوشه T_S به نوع خاک مرتبط شده است گو اینکه هیچگونه‌ای اشاره‌ای به نقش آن که اعمال اثرات جهت‌داری زلزله است نشده است. پارامتر N(T) برای پهنه‌های با خطر نسبی خیلی زیاد و زیاد به صورت رابطه ۴ آمده است .

$$N=0.7/(4-T_S)\,(T-T_S)+1 \qquad (۴)$$

با حداکثر ۱/۷ (مشابه استاندارد NZS که مقدار ۱/۷۲ توصیه شده است) برای پریودهای بزرگتر از ۴ ثانیه که مقادیر آن ثابت می‌ماند و برای پهنه‌های با خطر نسبی متوسط و کم به صورت رابطه ۵ آمده است.



شکل ۳: مقایسه ضرایب N(T,D) آیین نامه نیوزیلند با ضرایب بدست آمده توسط آقای سامرویل[۴] (مرجعی که شروع مقدار اثرات جهت‌داری را از پریود ۵/۱ ثانیه نشان می‌دهد، درحالیکه در استاندارد ایران این اثرات از زمان تناوب گوشه (T_s) شروع می‌شود)

Fig. 3. Comparison of value N(T,D) parameter in New Zealand standard and value in Somerville paper

$$N=0.4/(4-T_S)\,(T-T_S)+1 \qquad (۵)$$

با حداکثر ۱/۴ برای پریودهای بزرگتر از ۴ ثانیه که مقادیر آن ثابت می‌ماند.

منطق فرمول ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ [N(T)] فقط محدود است به انتخاب حداکثر ضریب ۱/۷ (برای مناطق با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد) و ۱/۴ (برای مناطق با خطر نسبی کم و متوسط) و درون‌یابی آن در محدوده‌های پریود گوشه ۱=(N) T_S و پریود چهار ثانیه (N=۱/۷) و یا (N=۱/۴) غافل از اینکه حداقل شرط وجود اثرات جهت‌داری در زلزله حوزه نزدیک بزرگای از ۶ ریشتر به بالاست [۴] این در حالی است که طبق منبع اصلی استاندارد نیوزیلند (مقاله آقای سامرویل) شروع جهت‌داری از زمان تناوب ۰/۶ ثانیه توصیه شده است. همچنین در استاندارد نیوزیلند اعمال اثرات جهت‌داری از زمان تناوب ۱/۵ ثانیه توصیه شده است (شکل ۳).

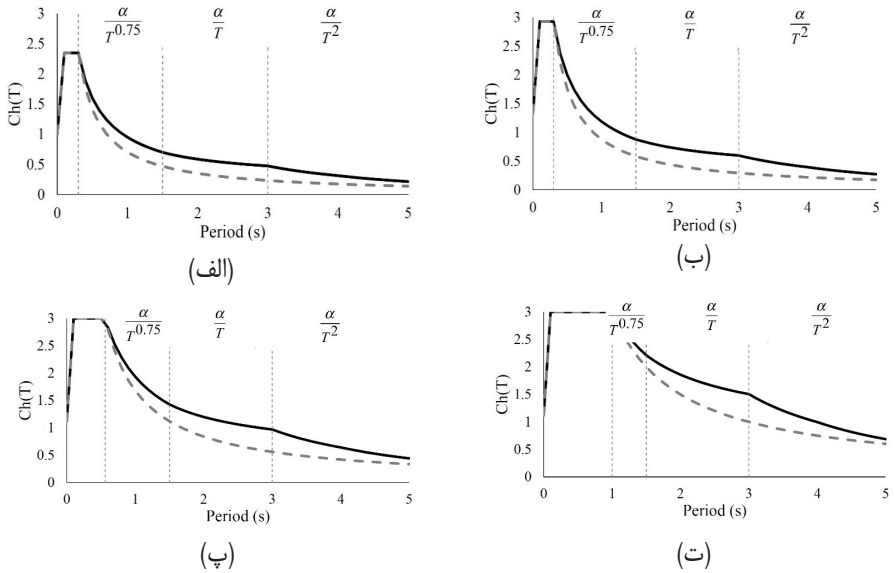
شکل ۴ طیف‌های دو استاندارد را بدون اثرات جهت‌داری روی چهار نوع خاک نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقادیر شتاب طیفی در زمان تناوب یک ثانیه با اعمال اثرات جهت داری با روش جدید

Table 4. spectral acceleration for 1 sec by considering new method directivity effect

	نوع خاک I	نوع خاک II	نوع خاک III	نوع خاک VI
شتاب در پریود یک ثانیه	۰/۴۹	۰/۶۱	۰/۸۶	۱/۲۳

1 Somerville



شکل ۴: مقایسه شکل طیفی استاندارد نیوزیلند با شکل طیفی شتاب با ۱/۱ الف) خاک نوع ۱. ب) خاک نوع ۲. پ) خاک نوع ۳. ت) خاک نوع ۴ (اختلاف تغییرات شتاب طیفی به صورت ۱/T در استاندارد ایران با طیف نیوزلند کاملاً قابل مشاهده می‌باشد)

Fig. 4. Comparison of standard new Zealand spectrum by spectral acceleration with 1.1 value a) soil type I b) soil type II c) soil type III d) soil type IV

۴- ارزیابی طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ به لحاظ اعمال اثرات حوزه نزدیک

بطوریکه قبلا آمد، باید با اعمال ضرائبی روی مقدار متوسط شتاب طیفی با رابطه (و یا روابط) کاهندگی [f(m,r)] انجام گردد [۸]. زیرا اعمال پارامتر N روی [N×Sa(Ti)=[N×f(m,r)+N×δε به این دلیل درست نیست که پارامتر N در انحراف معیار ضرب می‌شود (زیرا ε با مقیاس کردن تغییر نمی‌کند [۲۰]. شاهی و همکاران[۸] نشان دادند که پارامتر N (به جای N از AF به عنوان پارامتر افزاینده استفاده شده است) باید در مقدار متوسط روابط کاهندگی [f(m,r)] ضرب شود به این دلیل که انحراف معیار (δ) در این روش کاهش می‌یابد. در روش شاهی برای اصلاح مقادیر انحراف معیار به کار رفته در رابطه کاهندگی از پارامتر (RF ضریب تقلیل) پیش‌بینی شده استفاده شده است. اطلاعات دقیق این رابطه که انحراف معیار را کاهش میدهد در مرجع [۸] قابل دسترسی است. در این مقاله برای دسترسی به ضریب AF (بجای N(T)) از مرجع [۸] و ASCE [۲۳] الهام گرفته شده است. ارائه تغییرات شتاب طیفی در بازه حداکثر سرعت ثابت با اعلام اثرات جهت‌داری بصورت ۱/T مشابه طیف‌های ASCE می باشد. اختلاف مقادیر پارامتر AF در چهار نوع طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ محاسبه و به صورت شکلی مورد مقایسه قرار داده شده‌اند.

۴- ۱- ارزیابی استاندارد ۲۸۰۰ در اعمال اثرات جهت‌داری در حوزه نزدیک

در این روش فرض بر این است که طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ با روش استاندارد با یک سری تحلیل خطر بر روی چهار نوع خاک و با استفاده از روابط کاهندگی بدست آمده است. علی الاصول مبنای این ارزیابی این است که بزرگای متوسط در فاصله متوسط حوزه نزدیک و با استفاده از روش موجود [۸] محاسبه میگردد که مقدار آن در این ارزیابی ۶/۵ ریشتر است و ضریب اثرات جهت‌داری ناشی از بزرگای ۶/۵ ریشتر محاسبه و یک سوم آن به عنوان مبنای ارزیابی شتاب طیفی با مقادیر نظیر با اعمال اثرات پارامتر N(T) مورد استفاده قرار داده می‌شود. در این صورت مقادیر شتاب طیفی در زمان تناوب‌های مختلف باید با استفاده از روابط زیر با احتمال فراگذشت ده درصد در پنجاه سال بدست آمده باشد.

$$\ln Sa=\mu_{\ln Sa}+\varepsilon\delta_{\ln Sa}$$
$$\mu_{\ln Sa}=\ln Sa-\varepsilon\delta_{\ln Sa} \qquad (۶)$$
$$\varepsilon=1.28$$

که به دلیل احتمال فراگذشت ده درصد در پنجاه سال مقدار اپسیلون برابر با ۱/۲۸ می باشد. با توجه به اینکه اثرات جهت داری باید روی شتاب‌های طیفی متوسط ($\mu_{\ln Sa}$) اعمال گردد، شتاب طیفی نظیر یک ثانیه که در بازه حداکثر سرعت قرار دارد برای ارزیابی اعمال اثرات حوزه نزدیک انتخاب گردیده است (ASCE-7-2005). گام‌های مختلف کار به شرح زیر است:

مقادیر شتاب‌های طیفی در زمان تناوب یک ثانیه (T=۱) در هر چهار نوع خاک (بدون اعمال اثرات N) مشخص می‌شود (جدول شماره ۳).

سه رابطه کاهندگی به شرح زیر برای محاسبه مقادیر شتاب طیفی متوسط هر یک از انواع خاک‌ها انتخاب شده با این توضیح که در زمان تناوب یک ثانیه مقادیر انحراف معیارها مشخص است.

محاسبه بزرگای متوسط در ساختگاه‌های حوزه نزدیک ایران:

با توجه به اینکه طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ نظیر احتمال فراگذشت ده درصد می‌باشد، با در اختیار داشتن انحراف معیار (δ) در زمان تناوب یک ثانیه (که در هر رابطه کاهندگی میزان مشخصی است) و اپسیلون نظیر آن معادل ۱/۲۸ و مقدار $LnSa(T=۱)$ طبق رابطه ۶ مقدار متوسط μ_{LnSa} در صورت انتخاب مقدار متوسط فاصله (R) (که تابعی به صورت $f(M,R)$ است) با استفاده از مقدار $f(M,R)$ مقدار M از طریق رابطه کاهندگی بدست می‌آید. در این مطالعه حاصل این کار به مقدار M=۶/۵ انجامیده است.

به طوریکه قبلا آمد، با الهام از روش آقایان شاهی و بیکر[1] (که روشی برای پیش‌بینی شتاب طیفی در ساختگاه‌های نزدیک گسل در بردارنده درصدی از اثرات جهت‌داری است ارائه داده اند) و با فرض اینکه زلزله با بزرگای ۶/۵ ریشتر دارای حداکثر میزان افزایش شتاب طیفی (جهت‌داری) در زمان تناوب (T_P (Pulse period می‌باشد (آنچه در استاندارد نیوزلند رعایت شده است) مقدار T_P از رابطه μ_{lnTP} =-5.73+0.99M محاسبه شده است و معادل ۰/۸ ثانیه می‌باشد (T_P=۰/۸ ثانیه)

با در اختیار داشتن مقدار زمان تناوب نظیر حداکثر شتاب طیفی جهت دار (T_P) متوسط ضریب افزایش شتاب طیفی μ_{lnAF} با استفاده از مرجع [۸] معادل ۱/۸۵ بدست آمده است. نکته قابل اهمیت این است که این عدد در حالتی است که زلزله با بزرگای ۶/۵ ریشتری صد در صد دارای جهت‌داری باشد. حال آنکه زلزله در ساختگاه نزدیک به گسل الزاماً با جهت‌داری همراه نیست و ناحیه پیش سوی که جهت‌داری در آن رخ می‌دهد تقریبا یک چهارم مناطق اطراف گسل را تشکیل می‌دهد [۴]. با توجه به عدم امکان دسترسی به خصوصیات صفحه گسلش زلزله‌های نزدیک گسل در ایران چون هدف از اینکار ارزیابی فاکتور جهت‌داری در استاندارد ۲۸۰۰ است (N)، اگر حداقل سی درصد این مقدار به عنوان ضریب افزایش ناشی از جهت‌داری تعیین گردد با اعمال ضریب افزایش طیفی (AF) مرجع [۸] در زمان تناوب یک ثانیه معادل

۱/۲۵= (۰/۳*۰/۸۵)+۱ خواهد شد (AF) که باید به طور حداقل روی شتاب‌های طیفی نظیر یک ثانیه تمامی طیف‌های چهار نوع خاک اعمال گردد. نتایج ضرائب افزایش شتاب‌های طیفی در زمان تناوب یک ثانیه روی چهار نوع خاک در جدول ۶ نشان داده شده است.

یادآوری می‌شود که تغییرات شتاب طیفی در بازه حداکثر سرعت ثابت در طیف‌های اصلاح شده همچنان با اقتباس از ASCE متناسب با $1/T$ باقی می‌ماند.

قابل ذکر اینکه شتاب‌های طیفی در بازه حداکثر شتاب ثابت نیز که لزوم آنها در مقاله [۲۲] عنوان گردیده نیز باید اصلاح گردد. جدول ۲ نشان می‌دهد که فاکتور خطر برای فواصل از ۴ تا ۲۰ کیلومتر بین ۰/۴۱ تا ۰/۴۲ است با توجه به اینکه مقادیر فاکتور Z حدودا با شتاب مبنای طرح برابر است طبیعتاً بازه شتاب ثابت نیز باید افزایش یابد. به منظور انجام حداقل اصلاحات در طیف‌های موجود در ویرایش چهارم، حداقل اصلاح مقادیر شتاب طیفی در بازه حداکثر شتاب نیز برابر مقادیر مندرج در شکل ۵ گردیده است. به طوریکه مشاهده میگردد، مقادیر شتاب طیفی با روش‌های متداول اعمال اثرات جهت‌داری سازگاری ندارد.

جدول ۵: مقادیر حداکثر ضریب اثرات جهت داری متناسب با زمان های تناوب در استاندارد نیوزیلند؛ ارزش کیفی این مقادیر از کمّی آن‌ها بیشتر است و به صورت نسبی قابل ارزیابی است

Table 5. Maximum value of directivity effect corresponding with period in new Zealand standard; worth qualitative value more than value number.

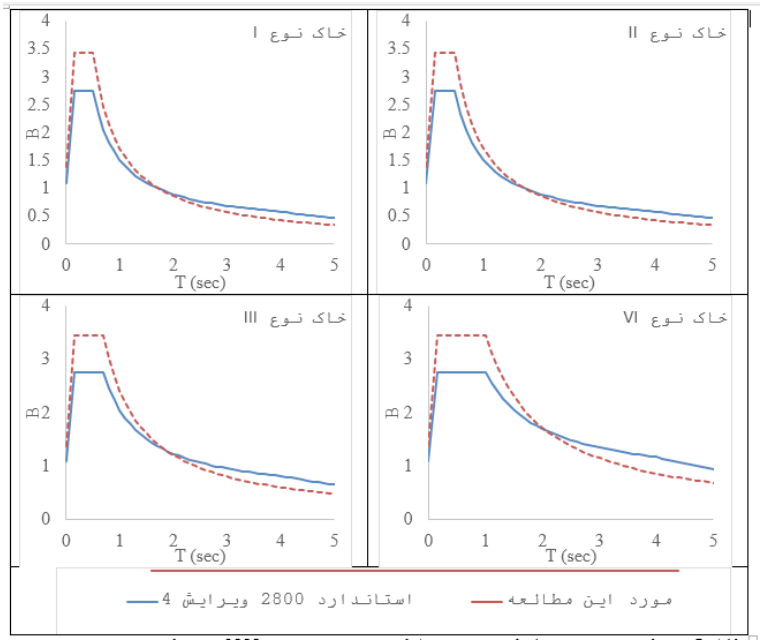
Period (sec)	۱/۵>	۲	۳	۴	≥۵
N_{max}	۱	۱/۱۲	۱/۳۶	۱/۶	۱/۷۲

جدول ۶ : ضرائب افزایش شتاب های طیفی مشروط بر اینکه زلزله با بزرگای ۶/۵ ریشتری همراه با جهت داری باشد در چهار نوع خاک (مقادیر به صورت)

Table 6. spectral acceleration amplification factor provided the earthquake more than 6.5 with directivity effect for four type soil

نوع خاک	شتاب در ۱ ثانیه	پریود پالس	میزان افزایش تابع N(T)
۴	۰/۹۶	۰/۸	۱/۸۵
۳	۰/۶۷		

1 Baker



شکل ۵: ارزیابی نسبی و کیفی مقایسه طیف های استاندارد ۲۸۰۰ و روش جدید در چهار نوع خاک در هر دو بازه شتاب ثابت و حداکثر سرعت ثابت. به طوریکه قابل مشاهده می‌باشد مقادیر شتاب‌های طیفی استاندارد ایران در بازه‌ی میانی دارای مقادیر کمتر و در بازه با زمان‌های تناوب بالا (بزرگتر از ۳ ثانیه) دارای مقادیر بزرگتری است

Fig. 5. Assessment comparative and qualitative spectrum standard 2800 and new method for four soil type at constant acceleration and constant maximum velocity period ranges. As it seen the spectrum acceleration of Iranian standard is less in middle period and more for long periods.

۵- نتیجه‌گیری

طراحی و ساخت چشمگیر انواع ساختمان‌ها در اکثر شهرهای بزرگ ایران از یک طرف و لرزه‌خیز بودن بخش‌های عمده‌ای از مناطق و از طرف دیگر اهمیت ارائه طیف‌های طراحی بروز شده و قابل اعتمادتر در استاندارد ۲۸۰۰ را به وضوح آشکار می‌نماید. در این نوشتار سعی شده است برخی از چالش‌های موجود در طراحی طیف‌های موجود شفاف‌سازی شود. طیف‌های موجود به صورت دو بخشی ($A\times B$) و ظاهرا با اقتباس از استاندارد نیوزیلند تهیه شده است. تفاوت‌های اساسی پارامترهای تشکیل دهنده شتاب‌های طیفی استاندارد ۲۸۰۰ با مقادیر نظیر در استاندارد نیوزیلند مورد بررسی و ارزیابی قرار داده شده است. این نگرانی که آیا شتابهای طیفی استاندارد ۲۸۰۰ با علوم مهندسی زلزله امروزی تا چه حد سازگار است. انگیزه اصلی این نوشتار بوده است. به عنوان نمونه شتاب مبنای طرح (که در زمان تناوب صفر تعریف می‌شود) تنها پارامتری است که استاندارد ۲۸۰۰ را در تمامی زمانهای تناوب به مقادیر نظیر احتمال فراگذشت ده درصد در پنجاه سال تبدیل می‌کند. دیگر نمونه آن شکل طیفی استاندارد ۲۸۰۰ است که از طیف‌های آمریکا اقتباس شده در حالی که با شکل طیفی استاندارد نیوزیلند با وجود دو پارامتری بودن شباهتی ندارد.

دیگر نکاتی که در مقاله به آن توجه ویژه‌ای معطوف شده است پارامتر اعمال اثرات جهت‌داری در حوزه نزدیک $[N(T)]$ است. این پارامتر به لحاظ روش اعمال در ضرب زلزله از استاندارد نیوزیلند اقتباس شده $[N(D,T)]$ در حالی که به لحاظ محتوائی تفاوت فاحشی با آن دارد. اساس اعمال اثرات جهت‌داری در استاندارد ۲۸۰۰ یک درون‌یابی است با حداکثر ۱/۷ در پریود ۴ ثانیه و حداقل ضریب یک در پریود گوشه. در حالی که پارامتر اثرات جهت‌داری در استاندارد نیوزیلند با استناد از مطالعات آقای سامرویل است که از زمان تناوب ۱/۵ ثانیه شروع می‌شود. گو اینکه امروزه این گونه نحوه اعمال اثرات جهت‌داری بکلی منسوخ شده که در مقاله از روش‌های بروز شده‌تر برای ارزیابی طیف استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده نتایج این مطالعه بطور فشرده بصورت زیر قابل ارائه است.

۱. تغییر روش بدست آودن شتاب مبنای طرح (A) که بیشینه شتاب زمین روی بستر سنگی را نمایندگی می‌کند حداقل از روشی مستقل از شکل طیفی مانند آنچه در استاندارد نیوزیلند است انجام می‌گیرد.
۲. فرم شکل طیفی یا باید از طیف‌های آمریکا اقتباس شود یا از شکل طیفی استاندارد نیوزیلند.
۳. عدم سازگاری مقادیر شتاب طیفی با اعنال اثرات جهت‌داری موجود ایجاب میکند که از روش‌های جدید برای ارائه پارامتر اثرات حوزه نزدیک $N(T)$ به طوریکه این اثرات روی متوسط شتاب‌های طیفی اثر بگذارد. نمونه آن روش‌هائی است در مرجع [۸] به آن اشاره شده است.

۴. به طور کیفی استاندارد ۲۸۰۰ در زمان‌های میانی (حدود ۲ ثانیه) مقادیر شتاب‌های طیفی کمتری و در زمان‌های تناوب بالا (بیش از ۲ ثانیه) مقادیر شتاب‌های طیفی بیشتری از روش‌های متداول امروزی را ارائه کرده است. به بیان ساده برای برج‌ها مقادیر شتاب طیفی بیشتر و برای ساختمان‌های تا حدود ده طبقه که مقدار آنها بسیار بیشتر است مقادیر طیفی کمتری ارائه کرده است.

در پایان لازم است به این نکته اشاره شود که چون در بازه‌هایی از زمان های تناوب بالا (حدود ۳ ثانیه) به دلیل ثابت بودن حداکثر جابجایی طیف‌های تاریخچه زمانی شتاب، ترتیبی اتخاذ گردد که شتاب‌های طیفی متناسب با ۱/T2 تغییر نماید. این نکته هم در استاندارد ASCE و هم در استاندارد نیوزیلند رعایت شده است.

مراجع

[1] A. Nicknam, A. Mazarei, M. Ganjvar , The assessment of design response spectra in Iran standard No. 2800 ignoring the explicit effects of splitting to two parameters, A and B(T) and site-to-source distance, 2016.

[2] A. Nicknam, Consequences of the recently modification of Iran seismic design code (No. 2800) (due to A* B form) and proposing forward directivity effects coefficients (NA and NV), (2017).

[3] A. Nicknam , M. Farahangdoost, A.Mazarei, M.Ganjvar ,Seismic design parameters assessment of special steel moment resisting frames using the collapse margin ratio method (CMR)(Modification factor R and over-strength factor Ω0), Amirkabir J. Civil Eng, 50(2) (2018) 81-90.

[4] A. Ben-Menahem, Radiation of seismic surface-waves from finite moving sources, Bulletin of the Seismological Society of America, 51(3) (1961) 401-435.

[5] S.K. Shahi, J.W. Baker, An empirically calibrated framework for including the effects of near-fault directivity in probabilistic seismic hazard analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, 101(2) (2011) 742-755.

[6] N.A. Abrahamson, Effects of rupture directivity on probabilistic seismic hazard analysis, in: Proceedings of the 6th international conference on seismic zonation, Palm Springs CA, 2000, pp. 151-156.

[7] B. Rowshandel, Directivity correction for the Next Generation Attenuation (NGA) relations, Earthquake Spectra, 26(2) (2010) 525-559.

[8] M. Yousefi, T. Taghikhany, Incorporation of directivity effect in probabilistic seismic hazard analysis and disaggregation of Tabriz city, Natural hazards, 73(2) (2014) 277-301.

[9] C. Champion, A. Liel, The effect of near-fault directivity on building seismic collapse risk, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 41(10) (2012) 1391-1409.

[10] E. Kalkan, S.K. Kunnath, Relevance of absolute and relative energy content in seismic evaluation of structures, Advances in Structural Engineering, 11(1) (2008) 17-34.

[11] J.F. Hall, T.H. Heaton, M.W. Halling, D.J. Wald, Near-source ground motion and its effects on flexible buildings, Earthquake spectra, 11(4) (1995) 569-605.

[12] T.H. Heaton, J.F. Hall, D.J. Wald, M.W. Halling, Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical Mw 7.0 blind thrust earthquake, Science, 267(5195) (1995) 206-211.

[13] W. Iwan, Drift spectrum: measure of demand for earthquake ground motions, Journal of structural engineering, 123(4) (1997) 397-404.

[14] N.Z. Standard, NZS 1170.5: 2004 Structural Design Actions Part 5: Earthquake actions–New Zealand, Wellington, New Zealand: Standards New Zealand, (2004).

[15] R. Fenwick, G. MacRae, Comparison of New Zealand Standards used for seismic design of concrete buildings, Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 42(3) (2009) 187.

[16] G.P. Kouretzis, M.J. Masia, C. Allen, Structural Design Codes of Australia and New Zealand: Seismic Actions, in: Encyclopedia of Earthquake Engineering, Springer, 2013, pp. 1-16.

[17] R.P. Dhakal, S.-L. Lin, A.K. Loye, S.J. Evans, Seismic design spectra for different soil classes, Bull New Zealand Soc Earthq Eng, 46(2) (2013) 79-87.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

A. Nicknam, E. Youssefi, A. Mazarei, Iran seismic design code evaluation through comparison with NZS 1170.5 and a critical look at its directivity effects implementation , *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(4) (2018) 725-734.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11832.5098